

Development of a Mechatronic System For Tensile Testing of 3D Printing Plastics Under ASTM-D638 Standard

Harold A. Rodriguez-Arias¹; Andrés J. Fernández Fonseca²; Andrea C. Julio Padilla³; Paula A. Molano Pachón⁴; Mauricio Quimbayo Camargo⁵

^{1,2,3,4,5}Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, harias@utb.edu.co

Abstract— Given the need for a machine capable of conducting tensile tests on plastics, specifically PLA, the creation and development of such a machine has been proposed to be used and tested by Mechatronics Engineering students at the Technological University of Bolívar. Considering the importance of plastics in engineering, due to their versatility and durability, and their widespread use in various applications, it is essential to understand their mechanical behavior under different conditions, in this case, under tension. The main objective is to provide an educational and practical tool that allows students not only to observe but also to actively participate in conducting these tests, overcoming the limitation that only laboratory assistants have access to this equipment. This initiative aims to enhance the understanding and handling of plastics in practical and research applications. The development of this machine will start with conceptual design, addressing both theoretical and practical aspects to ensure that all necessary requirements for its proper operation are met. The ASTM D638 standard will be followed, which establishes standard procedures for tensile tests on plastics, ensuring that the tests are conducted in a standardized and safe manner. This will minimize errors and accidents, creating a safe, competent, and enjoyable environment for regular use by students and other interested groups.

Keywords—Mechatronics System, Tensile Test, 3D Printing Plastics, ASTM D-638 Standard.

Desarrollo de un Sistema Mecatrónico Para Ensayos de Tensión en Plásticos de Impresión 3D Bajo la Norma ASTM D638

Harold A. Rodríguez-Arias¹ ; Andrés J. Fernández Fonseca² ; Andrea C. Julio Padilla³ ; Paula A. Molano Pachón⁴ ; Mauricio Quimbayo Camargo⁵ 
^{1,2,3,4,5}Universidad Tecnológica de Bolívar, Colombia, harias@utb.edu.co

Resumen– Este artículo presenta el desarrollo de un sistema mecatrónico que realizará ensayos de tracción en plásticos de impresión 3D, como PLA, PLA+, ABS y PETG, de acuerdo con la norma internacional ASTM D638 [1]. El proyecto está destinado al Laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Bolívar, para suplir la falta de equipos especializados en la caracterización de las propiedades mecánicas de estos materiales en un entorno educativo e investigativo.

El diseño detallado para garantizar estabilidad y robustez incluye un marco de doble columna junto con varios componentes cuidadosamente seleccionados que brindan precisión y durabilidad. El sistema cuenta con mordazas de cuña para los ensayos de tracción, un sistema de accionamiento y transmisión de fuerzas, sensores para la correcta medición de fuerza y deformación, y una plataforma de software intuitiva que controla y supervisa los ensayos. Las características incluidas aseguran la repetibilidad confiable de los ensayos, la seguridad operativa y el cumplimiento de los parámetros y restricciones establecidos por la norma ASTM D638 para este tipo de ensayos.

Este sistema satisface las necesidades académicas, investigativas y colaborativas, contribuyendo significativamente a la mejora continua de la formación práctica de los estudiantes y fomentando su participación en proyectos innovadores. Aunque ya se han realizado el diseño conceptual y los cálculos necesarios para el funcionamiento de la máquina, la implementación está pendiente debido a la falta de instalación de componentes clave y a la necesidad de realizar pruebas en el diseño final.

Palabras clave– Sistema mecatrónico, Ensayo de tracción, Plásticos de impresión 3D, Norma ASTM-D638.

I. INTRODUCCIÓN

Se ha identificado una necesidad en el laboratorio de Ingeniería Mecatrónica de la Universidad Tecnológica de Bolívar: contar con una máquina de ensayos de tensión diseñada específicamente para materiales plásticos como PLA, PLA+, ABS y PETG. Este equipo permitiría a los estudiantes realizar pruebas precisas y prácticas sobre las propiedades mecánicas de los materiales de impresión 3D, especialmente en lo que respecta a su resistencia a la tracción, un aspecto clave para aplicaciones en manufactura aditiva e industrias modernas.

A pesar de que la universidad ya dispone de una máquina de ensayos de tensión, está configurada para trabajar con materiales como aceros y no cumple con los requisitos normativos necesarios para plásticos. Además, su uso está

limitado al personal asignado, lo que dificulta el acceso de los estudiantes, quienes deben coordinar permisos con antelación, generando retrasos y limitando su capacidad para desarrollar actividades investigativas y prácticas.

El desarrollo de este proyecto enfrenta desafíos importantes, como la selección y adquisición de componentes especializados en un mercado con opciones variadas y costos elevados, a esto se suma la necesidad de realizar pedidos a proveedores externos, lo que puede ocasionar demoras logísticas. Asimismo, se requiere diseñar e integrar un sistema de adquisición de datos que permita registrar y analizar los resultados de las pruebas, además de capacitar al personal y estudiantes para el uso y comprensión de esta tecnología.

Esta iniciativa no solo responde a una necesidad operativa inmediata, sino que también fomenta la investigación aplicada y fortalece las capacidades técnicas de los estudiantes en el ámbito de los materiales para impresión 3D y manufactura aditiva, consolidando su formación práctica y teórica [2].

II. OBJETIVO DEL PROYECTO

Desarrollar un sistema mecatrónico para el ensayo de tensión para plásticos de impresión 3D bajo la norma ASTM D638[1], incluyendo el diseño de su estructura morfológica, seleccionar los componentes necesarios para su funcionamiento, integrando la mecánica, electrónica, eléctrica y control, además de implementar el software de ensayos de tensión, con el fin de ser utilizado en el laboratorio de materiales de impresión 3D de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

III. METODOLOGÍA

A. Diseño Conceptual

La máquina de ensayos universal tiene la capacidad de llevar a cabo gran variedad de ensayos de tracción compresión, flexión de pelado y de adhesión, incluyendo otros ensayos mecánicos. Estas máquinas permiten realizar diferentes ensayos en una amplia variedad de materiales y tienen numerosas aplicaciones en diferentes industrias [3]. Se revisaron tres diseños conceptuales para la máquina de ensayo de tracción a desarrollar, adaptada para materiales utilizados en impresión 3D. Cada diseño varía en estructura, funcionalidad y

mecanismos de sujeción y control de movimiento, proporcionando un rango de soluciones para diferentes requisitos operativos:

1. Máquina de Ensayo de Tracción de Doble Columna

Este diseño presenta un robusto marco de doble columna que proporciona una mayor estabilidad y rigidez, cruciales para la precisión en aplicaciones de alta carga. Integra un motor de alto par con un controlador de fuerza avanzado para una aplicación precisa de carga y control de velocidad. El sistema de sujeción de la muestra incluye una variedad de opciones de agarre:

- Pinzas Hidráulicas: Proporcionan alta fuerza de sujeción con un deslizamiento mínimo de la muestra, adecuadas para ensayos de alta carga.
- Pinzas Neumáticas: Ofrecen un agarre rápido y eficiente de las muestras, ideales para ensayos de alta productividad.
- Garras Manuales: Diseñadas para aplicaciones de baja carga y ajuste de agarre personalizable.

Este diseño enfatiza la robustez y estabilidad, asegurando un rendimiento confiable en diversas condiciones de ensayo.

2. Máquina de Ensayo de Tracción Compacta de Una Sola Columna

Esta configuración incluye un marco de columna única con una base estabilizadora reforzada, proporcionando una solución compacta y rentable sin comprometer la precisión. Incluye garras intercambiables para adaptarse a diferentes tamaños y formas de muestras, mejorando la versatilidad. Las características clave incluyen:

- Pinzas Rotativas: Permiten rotación durante el ensayo, adaptándose a escenarios de carga complejos.
- Sistema de Mandíbulas Deslizantes: Ofrece fácil inserción y extracción de la muestra, facilitando una rápida configuración de pruebas.
- Puntos de Fijación Ajustables: Proporcionan soporte adicional para muestras de geometrías no estándar.

Este diseño se centra en la versatilidad en el manejo de muestras y la precisión en las mediciones de fuerza y deformación.

3. Máquina de Ensayo de Tracción Modular Automatizada

Este diseño modular se centra en la tecnología avanzada de automatización con un sistema de control y adquisición de datos totalmente digitalizado. Utiliza una interfaz de usuario intuitiva y sensores de alta precisión para el control ambiental y la medición de deformaciones. Los mecanismos de sujeción son totalmente modulares, permitiendo la personalización según los requisitos específicos de la prueba:

- Pinzas Inteligentes con Sensores de Carga: Miden y monitorean la fuerza de sujeción en tiempo real.

- Pinzas Mecánicas Automatizadas: Permiten el control remoto y la automatización del proceso de sujeción.
- Pinzas con Control Térmico: Adecuadas para ensayos sensibles a la temperatura, donde la temperatura de la muestra puede influir en los resultados.

Este diseño prioriza la facilidad de uso y la eficiencia operativa, permitiendo una rápida configuración y ejecución automatizada de pruebas con mínima intervención del operador.

El proceso de diseño sigue la metodología clásica de diseño mecánico propuesta por Shigley [4], que incluye:

1. Identificación de la necesidad y definición del problema.
2. Generación y selección de alternativas de solución.
3. Diseño detallado.
4. Construcción.
5. Ejecución de pruebas funcionales.

B. Evaluación y Selección del Diseño Conceptual

Después de evaluar cada diseño, se seleccionó la Máquina de Ensayo de Tracción de Doble Columna (Diseño 1) por su alta precisión, seguridad y capacidades de control ambiental, a pesar de los costos más altos. Esta máquina satisface mejor las necesidades de la universidad para un sistema de ensayo de tracción confiable y eficiente para materiales de impresión 3D como el PLA, el PLA+, el ABS y el PETG (ver Fig. 1).

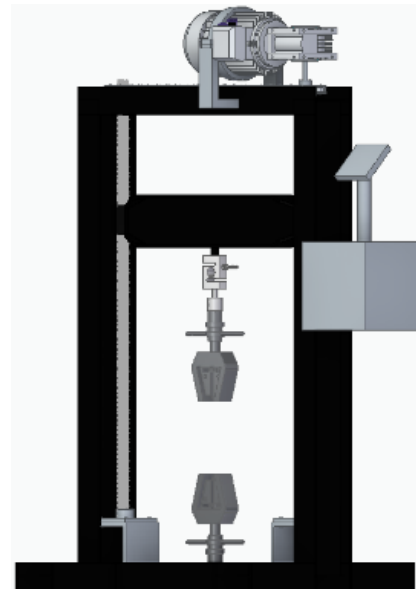


Fig. 1 Diseño propuesto. Fuente: Elaboración propia.

C. Diseño Detallado

El diseño seleccionado es el de doble columna, con un sistema de sujeción con mordazas de tracción de acción de cuña. A continuación se muestran las especificaciones y cálculos que se tomaron en cuenta para realizar el diseño.

La máquina está diseñada para realizar pruebas de tracción en probetas impresas en 3D. Sus componentes principales son:

- Marco: el diseño incluye una estructura rectangular que actúa como base y soporte para los demás componentes. Además, cuenta con dos columnas hechas de canales en U de hierro, que brindan estabilidad y protección al sistema de accionamiento. Las columnas están unidas en la parte superior mediante una conexión que garantiza la integridad estructural.
- Travesaño: el diseño incluye un travesaño fabricado con el mismo material que la base del marco. En él se encuentra la mordaza móvil, responsable de aplicar la fuerza a la muestra, y la celda de carga, que mide la fuerza aplicada en tiempo real y envía los datos al sistema de análisis. Este travesaño se desplaza verticalmente, accionado por un mecanismo de tornillo sin fin.
- Mordazas: la máquina cuenta con dos mordazas de acción de cuña, una fija y otra móvil, diseñadas para sujetar la probeta durante la prueba son perfectas para metales, compuestos y plásticos. Están diseñadas para facilitar la carga, alineación y posición de las probetas [5]. Entre las mordazas se dispone de un espacio adecuado para alojar la probeta y un área libre de desplazamiento de 20 cm.
- HMI (Interfaz Hombre-Máquina): la máquina incluye una pantalla ubicada a un lado, a través de la cual el usuario puede configurar la prueba. Esta pantalla se ha colocado en una posición ergonómica para maximizar la comodidad del usuario.
- Sistema de accionamiento: El diseño incluye un sistema de accionamiento con un motor y un tornillo sin fin, que al girar el motor mueve el travesaño hacia arriba o abajo mediante una chumacera.

A continuación, se presentan la vista explosionada del diseño, que incluye todos los componentes mecánicos y electrónicos principales para el funcionamiento de la máquina (ver Fig. 2).

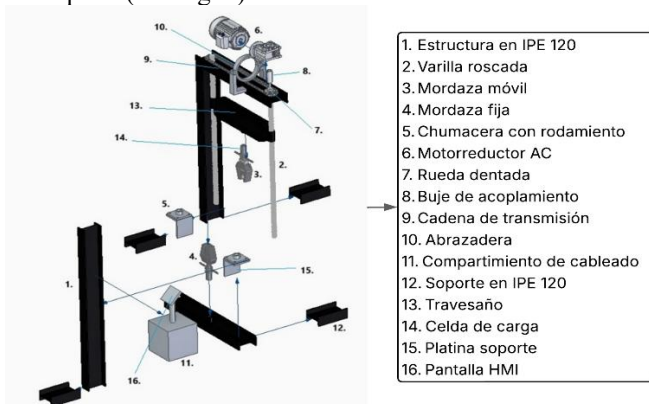


Fig. 2 Vista explosionada del diseño. Fuente: Elaboración propia.

D. Análisis y Cálculos

A continuación, se presentan los análisis y especificaciones necesarias para los elementos mecánicos más importantes en el diseño y montaje de la máquina, como son el motor y la transmisión:

- Torque del motor: 12Nm
- Velocidad del motor: 1RPM (0,96)
- Velocidad de salida deseada: 5 mm/min.
- Relación de transmisión: 0,2 (factor de reducción o aumento, dependiendo de la velocidad de salida deseada).
- Potencia del motor en kW: 0,01206 kW
- Numero de dientes de cada piñon (Z) = 14 a 17
- Paso de cadena (cadena 420) = 1/2 (20 a 25 mm).
- Distancia entre centros (C) = 57.8 cm

Las características del engranaje permiten reducir la velocidad a la salida, de tal forma que por cada 5 vueltas que del piñon, el engranaje da 2 vueltas, esto con el fin de tener una baja velocidad lineal en el tornillo, para la adquisición de datos. Es importante destacar que el tercer piñon va al segundo tornillo para poder realizar el movimiento en ambos ejes [6].

- Tensión: $F=T/r \rightarrow F = 309,7N$
- Velocidad de la cadena = 0,0039 m/s

E. Presupuesto y Lista de Materiales

Para cada uno de los componentes necesarios y elegidos para el proyecto, se muestra la cantidad y el precio asignado (ver Tabla 1).

TABLA I
COMPONENTES NECESARIOS: CANTIDADES Y PRECIOS

Cantidad	Lista de componentes		
	Nombre	Precio unitario (COP)	Total (COP)
1	IPE120 (0.12m*6m)	\$297,100	\$297,100
2	Varilla roscada (1m*1")	\$62,000	\$124,000
2	Mordazas de tracción tipo cuña	\$11,260,535	Donadas por la universidad
4	Tuercas 1"	\$7,250	\$29,000
4	Chumacera cuadrada 1"	\$30,000	\$120,000
1	Motorreductor NMRV63	\$600,000	\$600,000
1	Celda de carga tipo S 500 Kg	\$253,615	\$253,615
1	ESP 32	\$40,000	\$40,000
1	Sensor DHT22	\$14,875	\$14,875
1	Final de carrera multidireccional	\$26,100	\$26,100
1	Pantalla táctil TFT 2.8"	\$78,296	\$78,296

1	Botón de parada de emergencia	\$28,900	\$28,900
2	Rueda dentada	\$68,100	\$136,200
1	Cadena	\$81,498	\$81,498
1	Buje	\$30,000	\$30,000
1	Fuente de poder	\$95,000	\$95,000
1	Mano de obra	\$500,000	\$500,000
1	Material de soldadura (2 Kg)	\$26,000	\$26,000
4	Rodachines	\$13,500	\$54,000
1	Accesorios varios	\$30,000	\$30,000
Total			\$2,564,584

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, el costo total estimado para el proyecto asciende a \$2.564.584 COP.

F. Modelo Mecatrónico

Se muestra el modelo mecatrónico representando la interacción en conjunto de los elementos mecánicos, electrónicos, de control y computación (ver Fig. 3).

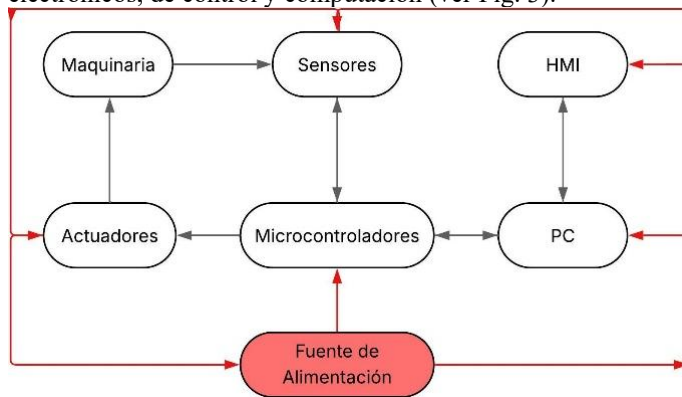


Fig. 3 Modelo del sistema mecatrónico. Fuente: Elaboración propia.

Este modelo está compuesto por:

1. Sensores:

- Final de carrera: Detecta la posición límite de un elemento mecánico, para evitar daños.
- Sensor de temperatura: Mide la temperatura ambiente para la prueba.

2. Actuadores:

- Motor: Genera el movimiento del sistema mecánico.
- Maquinaria: Elementos mecánicos para la realización de acción física.

3. Controladores:

- Driver: Permite controlar la alimentación y variar la potencia necesaria del motor.
- Microcontrolador (ESP32): Tiene el mando del sistema, tomando decisiones bajo los sensores y controlando la acción de los actuadores [7].

4. Interfaz de usuario y supervisión:

- HMI: Permite a un operador la interacción con el sistema.
- PC: Sirve para programar, supervisar o analizar el sistema.

5. Fuente de energía:

- Alimenta todos los componentes y asegura el correcto funcionamiento de los sensores, controladores y actuadores.

6. Flujo de operación:

- Entrada de datos: La información del entorno será recopilada por los sensores.
- Procesamiento: Procesa los datos por parte de los sensores, para las condiciones y de esa forma tomar decisiones para el funcionamiento del sistema [7].
- Control de actuadores: Entre el driver del motor y el microcontrolador, se ajusta la potencia que se suministra al motor y se realiza el movimiento deseado.
- Supervisión y ajustes: Tanto el sistema HMI como la computadora permiten supervisar el sistema en tiempo real y así realizar configuraciones.
- Ciclo cerrado: Los sensores se encargan de corroborar el funcionamiento del sistema y así asegurar el resultado esperado [8].

G. Diagrama de control

Se muestra el flujo de control que sigue el sistema mecatrónico en un diagrama de control (ver Fig. 4).

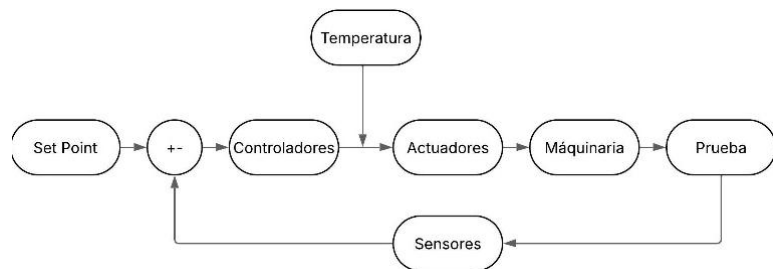


Fig. 4 Diagrama de control. Fuente: Elaboración propia.

El sistema incluye un set point (valor deseado), un sumador que compara este valor con las señales de los sensores, un controlador que usa técnicas PID, actuadores que ejecutan acciones físicas, maquinaria que realiza el trabajo, sensores que miden valores de temperatura y posición, y una prueba que verifica que los resultados cumplan los objetivos.

La temperatura es una posible perturbación que afecta a las pruebas.

H. Software

El sistema mecatrónico para ensayos de tensión se complementa con la implementación de un software de elaboración propia donde se puede controlar y dar mando a

todas las funciones de la máquina. Este está compuesto por múltiples apartados que se explicarán a continuación:

1. Ventana principal o de control

En esta ventana podremos observar tanto los mandos de control, como la gráfica principal de la prueba, y sus datos correspondientes. (ver Fig. 5).

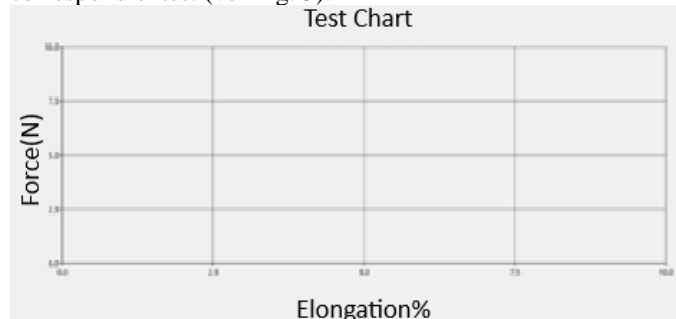


Fig. 5 Ventana principal: Grafica datos de la prueba en tiempo real.
Fuente: Elaboración propia.

En la esquina inferior derecha se encuentran los botones principales de START para iniciar el proceso, STOP para detenerlo y RESTART para reiniciar el proceso (ver Fig. 6)

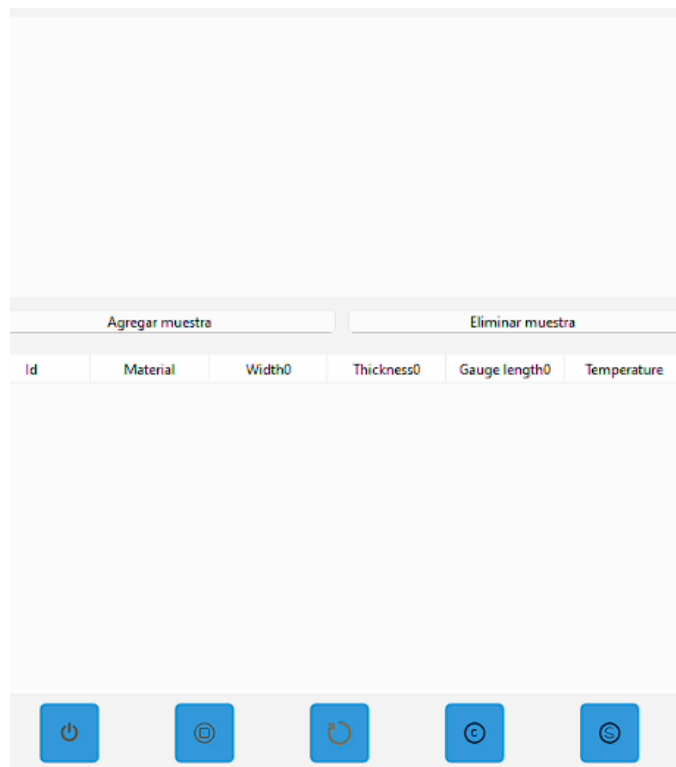


Fig. 6 Ventana principal: Datos de la muestra ingresada.
Fuente: Elaboración propia

2. Ingreso de datos de las probetas

En este lado de la ventana se logra observar la opción de agregar muestra para su registro. El registro debe ser conformado por la identificación para la muestra, el material, el

ancho, espesor, el calibre de longitud, la temperatura de la prueba, el registro del usuario por su ID y su nombre. Finalmente encontramos el botón de guardar muestra y los datos de esta, una vez ya guardada (ver Fig. 7).



Fig. 7 Ingreso de datos de las probetas. Fuente: Elaboración propia.

3. Características de la prueba

En la esquina inferior izquierda, se aprecian los datos de la prueba en tiempo real, una vez esta esté ejecutándose, brindándonos información importante que irá integrada en el informe entregado por la prueba. Esto incluye la duración de la prueba, velocidad de ejecución de esta, carga aplicada, porcentaje de elongación, además de otras características de alta importancia durante la prueba, tales como la elongación máxima en la deformación por muestra, su zona de plasticidad prevista, punto de fractura, etc., que serán exportadas posteriormente (ver Fig. 8).



Fig. 8 Características de la prueba. Fuente: Elaboración propia.

4. Botones de control

En la parte inferior derecha, se observan los botones de control, para el inicio de la prueba, detener esta, pausarla y elegir muestra para la prueba (ver Fig. 9).



Fig. 9 Botones de control. Fuente: Elaboración propia.

5. Ventana de datos

En esta ventana podemos observar la gráfica y los datos de esta, los cuales fueron adquiridos durante la prueba, y quedan registrados. Siendo que, en la parte derecha de la ventana, se encontrará la barra de búsqueda de las pruebas realizadas, ingresando su ID se puede encontrar y ver los datos de la prueba. Debajo de esto se observan los tipos de archivos para

exportar el informe una vez seleccionada la prueba realizada (ver Fig. 10).

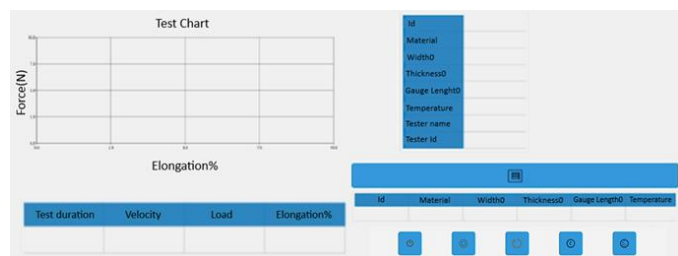


Fig. 10 Ventana de control durante la prueba. Fuente: Elaboración propia.

6. Informe exportado

En el informe podremos observar los datos anteriormente ingresados, como de igual forma los datos adquiridos durante la prueba, las características, identificaciones y demás datos de la prueba (ver Fig. 11).

TEST REPORT								
Tester:	a	Wi	Thi	Gi	Temp	Wf	Thf	Gf
Tester ID:	12	123.0	123.0	123.0	13.0	1.0	1.0	1.0
Specimen type:	Dogbone							
Pre-load:	0.1 MPa							
Speed:	5 mm/s							
Grip to grip separation:	115.00 mm							
Gage length:	50 mm							
Elongation preset:	2%							
YM - 2 points (MPa)	YM - Ireg (MPa)	SM (MPa)	FL (MPa)	PM	ML (N)			
1.0	0.9999999999999998	1.0	3.0	0.9999999999999996	6.0			
Cross Section I	Cross Section f	Ultimate Tensile Strength	Strain	Plastic Module	Reduction of Area			
15129.0	1.0	0.000396589331746976	-0.991869918699187	0.9999999999999996	99.99339017780422			

Fig. 11 Informe exportado. Fuente: Elaboración propia.

Además, la gráfica también será exportada en este informe (ver Fig. 12).

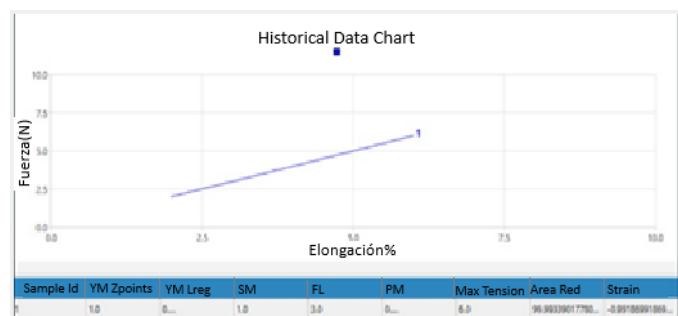


Fig. 12 Gráfica exportada. Fuente: Elaboración propia.

I. Pruebas

1. *Probetas:* Las probetas a probar son las establecidas como Probetas Tipo 1 según la norma ASTM D638, también conocidas como "probeta de forma tipo I" según la norma ASTM D638. Son utilizadas para realizar ensayos de tracción en plásticos. A continuación, se presentan sus características y especificaciones según la norma (ver Fig. 13):

- *Dimensiones*

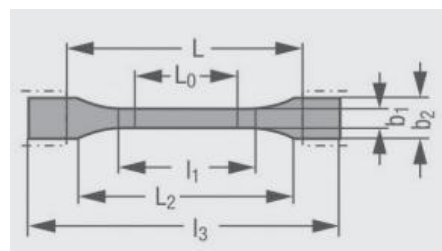


Fig. 13 Probetas Tipo 1 Según la Norma ASTM-D638 [9]

Donde:

- L_0 = Longitud de medición: 50 mm.
- L = Longitud de sujeción: 115mm.
- l_1 = Longitud de la parte estrecha paralela/Diámetro interior: 57mm.
- l_2 = Distancia entre secciones anchas, paralelas
- l_3 = Longitud total/ diámetro exterior: 165.
- b_2 = Ancho de probeta en área de los extremos: 19mm.
- b_1 = Ancho de probeta en área de longitud de medición: 13mm.
- h = Espesor de probeta: 3.2m.

- *Forma*

Tienen una forma rectangular con extremos redondeados, lo que ayuda a concentrar la carga en la sección media durante el ensayo de tracción.

- *Material*

Se pueden fabricar con una variedad de plásticos, incluyendo polímeros termoplásticos y termofijos, en el caso del presente proyecto, serán impresas en 3D en materiales como PLA, PLA+, ABS y PETG [10].

- *Preparación*

Las probetas deben ser fabricadas con las condiciones y técnicas adecuadas para asegurar que se obtengan propiedades mecánicas reproducibles [11].

2. *Pruebas realizadas:* Las pruebas realizadas y tabuladas a continuación utilizando una máquina de ensayo universal externa proporcionaron los siguientes valores (ver Tabla 2). Es importante señalar que se utilizan estos valores como puntos de referencia para extraer los valores significativos necesarios para la construcción del prototipo. También es relevante resaltar que al momento de realizar las pruebas con algunos de los materiales, la máquina de ensayo universal de la universidad estaba experimentando problemas de calibración, lo que resultó en algunos valores desfasados.

TABLA II
Pruebas de resistencia de materiales en probetas a utilizar

Material	Resultados de la prueba			
	N° de Ensayo	Fuerza Máxima ()	Resistencia a la Tensión (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)
ABS	1	1.46	1457.38	948.52

	2	1.41	1405.73	891.96
	3	1.48	1482.69	952.74
PETG	1	1.84	1835.81	1164.55
	2	1.85	1845.46	1155.66
	3	1.74	1737.51	1103.98
PLA	1	1.82	1215.63	1181.16
	2	1.74	1742.80	1134.14
	3	1.67	1672.44	1073.11
PLA+	1	1.69	1686.68	1094.95
	2	1.84	1838.11	1189.11
	3	1.64	1637.93	1066.74
	4	1.56	1560.73	1004.84
	5	2.28	1284.28	831.49

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS

Hasta esta fase del proyecto, los resultados obtenidos se limitan principalmente a la construcción de la estructura base de la máquina (ver Fig. 14). Esta estructura, construida con un canal IPE 120, ha sido montada y configurada para soportar los componentes principales del sistema. Sin embargo, debido a ciertas complicaciones en la adquisición de algunos de los componentes clave, como el motorreductor y el sistema de transmisión, no se han podido implementar en esta fase. Estas dificultades han retrasado parcialmente el avance del proyecto, ya que estos elementos son esenciales para completar el sistema de accionamiento y las pruebas de tracción.



Fig. 14 Resultado estructura. Fuente: Elaboración propia.

Otro resultado importante hasta el momento es el desarrollo del software que operará en conjunto con la máquina. El software está diseñado para permitir la configuración de las pruebas de tracción y la impresión de los informes de resultados. Actualmente, la interfaz de usuario permite ingresar los parámetros necesarios para cada prueba y visualizar los datos en tiempo real, lo que facilita la operación y la obtención de resultados. Aunque el sistema de control está funcionando correctamente, la integración de todos los componentes y la validación de las pruebas aún están pendientes, lo que significa que la máquina está operativa solo en su estructura básica y software. Al momento de completar el prototipo inicial, se realizará su validación con pruebas estandarizadas por una máquina de pruebas universal dispuesta por la Universidad Tecnológica de Bolívar.

En el siguiente enlace se puede observar el video del funcionamiento del software: <https://youtu.be/eg9GPKLvSns>.

V. CONCLUSIONES

El desarrollo del sistema mecatrónico para ensayos de tensión en plásticos de impresión 3D logró cumplir con gran parte de los objetivos planteados, particularmente en el diseño estructural y la integración conceptual de los sistemas eléctricos y de control. Los resultados obtenidos en las etapas de diseño y selección de componentes reflejan un alineamiento directo con los requerimientos de precisión, seguridad y cumplimiento de la norma ASTM D638.

No obstante, la implementación física y la validación funcional del sistema siguen pendientes. Esto evidencia la necesidad de asegurar la programación de todos los componentes y la realización de pruebas experimentales que confirmen la capacidad del sistema para operar bajo las condiciones previstas. Adicionalmente, la falta de pruebas completas plantea retos en la validación de los parámetros establecidos, como la precisión de los sensores y la eficacia del software en la adquisición y análisis de datos.

En conclusión, el proyecto demuestra un avance significativo en la incorporación de tecnología innovadora en el ámbito académico, mejorando la formación práctica de los estudiantes e impulsando su participación en proyectos interdisciplinarios. En términos de progreso futuro, se priorizarán las etapas de implementación y pruebas para garantizar que el sistema alcance su máximo potencial y cumpla con los objetivos de validación del diseño.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Nos gustaría expresar nuestra más profunda gratitud a nuestros asesores y profesores por su apoyo, orientación y valiosos consejos a lo largo del desarrollo de este proyecto, a la Universidad Tecnológica de Bolívar por brindarnos las instalaciones y recursos necesarios para llevar a cabo nuestra investigación. Agradecemos a la facultad de Ingeniería

Mecatrónica por su apoyo continuo y por el acceso a los laboratorios y al equipo esencial para este proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Standard test method for tensile properties of plastics. Astm.org. [consultado 2025 ene 30]. <https://www.astm.org/standards/d638>.
- [2] N. S. Sandoval Carrero, N. M. Acevedo Quintana, y L. M. Santos Jaimes, «Lineamientos desde la industria 4.0 a la educación 4.0: caso tecnología IoT», RCTA, vol. 1, n.º 39, pp. 81–92, feb. 2022, doi: 10.24054/rcta.v1i39.1379
- [3] Máquinas de ensayos universales para aplicaciones estáticas. Máquinas de ensayos universales para aplicaciones estáticas. [consultado 2025 ene 30]. <https://www.zwickroell.com/es/productos/maquinas-de-ensayos-de-materiales-estaticas/maquinas-de-ensayos-universales-para-aplicaciones-estaticas/>.
- [4] J. E. Shigley, C. R. Mischke, and R. G. Budynas, Theory of Machines and Mechanisms, 4th ed. New York, NY: McGraw-Hill Education, 2011.
- [5] NR GROUP. 2020 nov 29. NR Nuevos Recursos. [consultado 2025 ene 30]. <https://nuevosrecursos.com/>.
- [6] De “diseño y. Análisis de Transmisión Mecánica Para Máquina de Ensayos de Tensión, Daniel LSG, de Jesús AGJ, José ZM, Ángel LJL, Neftalí CJS, Liliana JS. Tema A Educación en ingeniería mecánica: Pruebas destructivas de materiales. Org.mx. [consultado 2025 ene 30]. https://somim.org.mx/memorias/memorias2019/articulos/A5_43.pdf.
- [7] C. J. Medina-Barahona, G. A. Mora, C. Calvache-Pabón, J. A. Salazar-Castro, H. A. Mora-Paz, y D. Mayorca-Torres, «Propuesta de arquitectura IoT orientada a la creación de prototipos para su aplicación en plataformas educativas y de investigación», RCTA, vol. 1, n.º 39, pp. 118–125, feb. 2022, doi: 10.24054/rcta.v1i39.1405
- [8] J. E. Meneses Flórez y D. P. Meneses Salazar, «Arquitectura hardware/software para un prototipo de pozo inteligente en un campo petrolero maduro», RCTA, vol. 2, n.º 36, pp. 109–121, ago. 2020, doi: 10.24054/rctav2i36.27
- [9] ASTM D638: Características de tracción en materiales plásticos. ASTM D638: Características de tracción en materiales plásticos. [consultado 2025 ene 30]. <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>
- [10] Formlabs, “Guía de materiales de impresión 3d: Tipos, aplicaciones y propiedades,” s.f. [Online]. Available: <https://formlabs.com/latam/blog/materiales-impresion-3d/>
- [11] ZwickRoell, “Propiedades de tracción astm d638 en plásticos,” 2024. [Online]. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/plasticos/termoplasticos-y-materiales-termoendurecibles/propiedades-de-traccion-astm-d638/>